

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

14/02

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平10-31853

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月13日

(31) 優先権主張番号 特願平9-30618

(32) 優先日 平 9 (1997) 2月14日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-111062

(32) 優先日 平 9 (1997) 4月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 神野 正彦

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 阪本 匡

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 相澤 茂樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

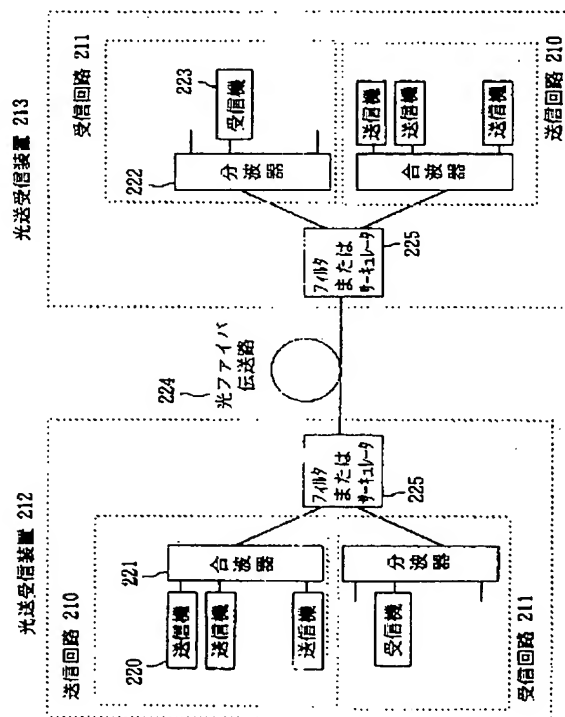
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重型光伝送システムおよび方法

(57) 【要約】

【課題】 波長分割多重光信号を伝送する光伝送路に既設の分散シフトファイバを用い、かつ分散シフトファイバへの許容光入力パワーを大きくする。

【解決手段】 零分散波長が1550nm付近にある光ファイバ伝送路224における波長分割多重型光伝送システムにおいて、波長多重された複数の信号光のうち、少なくとも2つの信号光の波長が1450nmから1530nmの間、または1570nmから1650nmの間のいずれかに配置される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 零分散波長が 1 5 5 0 n m 付近にある分散シフトファイバを伝送路とする波長分割多重型光伝送システムにおいて、波長多重された複数の信号光のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m の間、1 5 7 0 n m から 1 6 5 0 n m の間のいずれかに配置されることを特徴とする波長分割多重型光伝送システム。

【請求項 2】 前記波長多重された複数の信号光の波長のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m の間に配置されることを特徴とする請求項 1 記載の波長分割多重型光伝送システム。

【請求項 3】 前記波長多重された複数の信号光の波長のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1 5 7 0 n m から 1 6 5 0 n m の間に配置されることを特徴とする請求項 1 記載の波長分割多重型光伝送システム。

【請求項 4】 前記波長多重された複数の信号光のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m の間、ならびに 1 5 7 0 n m から 1 6 5 0 n m の間に配置されることを特徴とする請求項 1 記載の波長分割多重型光伝送システム。

【請求項 5】 前記 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m の間に波長が配置されている信号光と、前記 1 5 7 0 n m から 1 6 5 0 n m の間に配置されている信号光は、前記分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬することを特徴とする請求項 4 記載の波長分割多重型光伝送システム。

【請求項 6】 前記波長多重された複数の信号光の波長は 1 4 5 0 n m から 1 5 7 0 n m の間、ならびに 1 5 7 0 n m から 1 6 5 0 n m の間に配置され、前記 1 4 5 0 n m から 1 5 7 0 n m の間に波長が配置されている信号光と、1 5 7 0 n m から 1 6 5 0 n m の間に配置されている信号光は、前記分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬し、少なくとも、波長が 1 5 0 5 n m 以上 1 5 6 5 n m 以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置されることを特徴とする請求項 1 記載の波長分割多重型光伝送システム。

【請求項 7】 前記波長多重された複数の信号光の波長は 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m の間、ならびに 1 5 3 0 n m から 1 6 5 0 n m の間に配置され、前記 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m の間に波長が配置される信号光と、前記 1 5 3 0 n m から 1 6 5 0 n m の間に配置されている信号光は、前記分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬し、少なくとも、波長が 1 5 3 5 n m 以上 1 5 9 5 n m 以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置されることを特徴とする請求項 1 記載の波長分割多重型光伝送システム。

【請求項 8】 零分散波長が 1 5 5 0 n m 付近にある分

散シフトファイバを伝送路とする波長分割多重型光伝送方法において、

波長多重された複数の信号光のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1 4 5 0 n m から 1 5 3 0 n m の間、1 5 7 0 n m から 1 6 5 0 n m の間のいずれかに配置されることを特徴とする波長分割多重型光伝送方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、分散シフトファイバを用いて波長分割多重光信号を伝送する波長分割多重型光伝送システムに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】波長分割多重 (WDM) 伝送技術は、互いに異なる波長 (光周波数) の複数の光信号を多重化し、1 本の光ファイバ伝送路を介して伝送させる技術である。ここで、光信号とは、光源の出力光をデータ信号で直接変調したもの (直接変調方式)、または光源から出力される光搬送波を外部変調器を用いてデータ信号で変調したもの (外部変調方式) であり、その波長は光源波長により決まる。

【0 0 0 3】一方、光ファイバ伝送路の途中に光信号を光のまま増幅する光増幅器を配置し、光ファイバ伝送路の伝送損失を補償することにより、電気段における識別再生処理を必要とする再生中継間隔の延長が可能になっている。この光増幅器は、波長分割多重された複数の波長の光信号を一括して増幅する機能を有しているので送信側および受信側の装置を波長分割多重用に変更するだけで、既設の光ファイバ伝送路の伝送容量を波長数倍に増加させることができる。例えば、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA) の増幅波長帯域は 1. 5 3 μ m から 1. 5 6 μ m であり、この波長帯に波長間隔 0. 8 n m で複数の光信号を多重化することにより、3 0 チャンネル前後の光信号を 1 本の光ファイバで伝送させることができる。

【0 0 0 4】

【発明が解決しようとする課題】ところで、既設の分散シフトファイバは、設計された零分散波長の光信号を伝送するようになっている。この分散シフトファイバに波長分割多重光信号を伝送させると、非線形光学効果の 1 つである四光波混合によるクロストークが発生し、そのために伝送路ファイバへの入力パワーを大きくすることができなかった。以下、この問題点について詳しく説明する。

【0 0 0 5】石英系光ファイバの伝送損失は 1. 5 μ m から 1. 6 μ m 付近で最小になる。分散シフトファイバは、波長 1. 5 5 μ m 付近で波長分散が 0 となるように設計され、この波長における波長分散による波形劣化を抑えることにより伝送距離を拡大させている。また、分散シフトファイバは、国際標準機関により零分散波長が 1. 5 2 5 μ m から 1. 5 7 5 μ m となるように規定さ

れているが、実質的には $1.550\mu\text{m}$ を中心におおむね $1.535\mu\text{m}$ から $1.565\mu\text{m}$ に分布しており、現在までに広く敷設されている。

【0006】一方、波長が異なる複数の光を光ファイバに入力すると、光ファイバ中の 3 次の非線形性に基いて、光周波数差に依存した新たな光周波数の光が発生する。これは四光波混合と呼ばれ、光周波数 f_1 , f_2 , f_3 の 3 つの光から例えば光周波数 $f_1 + f_2 - f_3$ の光を発生させる現象である。この四光波混合は、入力光波長における分散値が小さいほど、また 1 波長当たりの入力パ

ワーが大きいほど発生しやすい。

【0007】このような光ファイバに入力される波長分割多重光信号の光周波数間隔が一定であれば、四光波混合により新たに発生する光の光周波数がもとの光信号のうちのいずれか 1 波の光周波数と一致し、互いに干渉して強度雑音が発生する。また、波長分割多重光信号の光周波数間隔が一定でない場合でも、もとの光信号の光パワーが四光波混合の発生に費やされ、これが強度雑音となる。四光波混合を要因とする過剰雑音は、波長分割多重光信号の光周波数間隔が等間隔の場合には 1 波長当たりの入力パワーが -5 dBm 程度から発生し、不等間隔の場合には 1 波長当たりの入力パワーが -2 dBm 程度から発生する。このため、光ファイバ伝送路に入力可能な光パワーは、その値を越えることができず、結果的に伝送距離が制限されることになる。

【0008】本発明は、波長分割多重光信号を伝送する光伝送路に既設の分散シフトファイバを用い、かつ分散シフトファイバへの許容光入力パワーを大きくすることができる波長分割多重型光伝送システムを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のうち請求項 1 に記載の発明は、零分散波長が 1550 nm 付近にある分散シフトファイバを伝送路とする波長分割多重型光伝送システムにおいて、波長多重された複数の信号光のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1450 nm から 1530 nm の間、 1570 nm から 1650 nm の間のいずれかに配置されることを特徴とする波長分割多重型光伝送システムである。また、請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の波長分割多重型光伝送システムにおいて、前記波長多重された複数の信号光の波長のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1450 nm から 1530 nm の間に配置されることを特徴としている。また、請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 に記載の波長分割多重型光伝送システムにおいて、前記波長多重された複数の信号光の波長のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1570 nm から 1650 nm の間に配置されることを特徴としている。

【0010】また、請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 に記載の波長分割多重型光伝送システムにおいて、前記

波長多重された複数の信号光のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1450 nm から 1530 nm の間、ならびに 1570 nm から 1650 nm の間に配置されることを特徴としている。また、請求項 5 に記載の発明は、請求項 4 に記載の波長分割多重型光伝送システムにおいて、前記 1450 nm から 1530 nm の間に波長が配置されている信号光と、前記 1570 nm から 1650 nm の間に配置されている信号光は、前記分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬することを特徴としている。

【0011】また、請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 に記載の波長分割多重型光伝送システムにおいて、前記波長多重された複数の信号光の波長は 1450 nm から 1570 nm の間、ならびに 1570 nm から 1650 nm の間に配置され、前記 1450 nm から 1570 nm の間に波長が配置されている信号光と、 1570 nm から 1650 nm の間に配置されている信号光は、前記分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬し、少なくとも、波長が 1505 nm 以上 1565 nm 以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置されることを特徴としている。また、請求項 7 に記載の発明は、請求項 1 に記載の波長分割多重型光伝送システムにおいて、前記波長多重された複数の信号光の波長は 1450 nm から 1530 nm の間、ならびに 1530 nm から 1650 nm の間に配置され、前記 1450 nm から 1530 nm の間に波長が配置される信号光と、前記 1530 nm から 1650 nm の間に配置されている信号光は、前記分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬し、少なくとも、波長が 1535 nm 以上 1595 nm 以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置されることを特徴としている。

【0012】次に、請求項 8 に記載の発明は、零分散波長が 1550 nm 付近にある分散シフトファイバを伝送路とする波長分割多重型光伝送方法において、波長多重された複数の信号光のうち、少なくとも 2 つの信号光の波長が 1450 nm から 1530 nm の間、 1570 nm から 1650 nm の間のいずれかに配置されることを特徴とする波長分割多重型光伝送方法である。

【0013】

【発明の実施の形態】零分散波長が $1.55\mu\text{m}$ 付近に設定された分散シフトファイバを光伝送路として用いる場合において、まず始めに、波長多重される複数の信号光の波長が 1450 nm から 1510 nm の間、 1570 nm から 1610 nm の間のいずれかに配置される

(「第 1 の波長帯制限」と呼ぶ) 波長分割多重型光伝送システムについて説明する。その後、波長多重される複数の信号光の波長が 1450 nm から 1530 nm の間、 1570 nm から 1650 nm の間のいずれかに配置される (「第 2 の波長帯制限」と呼ぶ) 波長分割多重型光伝送システムについて説明する。

【0014】〔第1の波長帯制限に関する実施形態〕以下では、波長多重される複数の信号光の波長が1450 nmから1510 nmの間、1570 nmから1610 nmの間のいずれかに配置される理由およびシステム概要に付いて始めに述べる。その後、システムについて5つの実施形態を示し、それぞれについて説明する。

【0015】本発明の波長分割多重型光伝送システムは、零分散波長が1.55 μm付近に設定された分散シフトファイバを光伝送路として用い、分散シフトファイバを伝搬する際の波長分散の絶対値が0.5 ps/nm/km以上になるように複数の光信号の各波長を設定している。

【0016】文献(福井他、「分散マネジメントを用いたWDM光多中継伝送におけるファイバ非線形効果の影響」、1996年電子情報通信学会総合大会講演番号B-1138)には、四光波混合による伝送可能距離制限は、分散の絶対値が0.5 ps/nm/km以上であれば著しく緩和されるとある。一方、零分散波長が1.55 μm付近に設定された分散シフトファイバの実際の零分散波長は、製造上のばらつきを考慮して約1.535 μm~1.565 μmに分布すると考えられるが、波長1.55 μm近傍における波長分散値はほぼ波長の一次関数になる。そこで、分散スロープを+0.07 ps/nm²/kmとすると、波長分散の絶対値が0.5 ps/nm/km以上になる波長は、1.53 μm以下または1.57 μm以上となる。

【0017】また、本実施形態では、波長分割多重光信号の波長帯として、この2つの波長域のいずれか一方、または両方を用いるものである。具体的には、1.57 μm~1.61 μmの波長域を用いる。または、1.45 μm~1.51 μmの波長域を用いる。または、その両方の波長域を用いる。これにより、各波長における無視できない波長分散により、四光波混合発生に必要な位相整合条件が満たされなくなり、四光波混合発生を抑圧することができる。その結果、分散シフトファイバへの許容光入力パワーを大きくすることができ、伝送可能距離を大幅に延ばすことができる。

【0018】ところで、従来より、光ファイバの低損失領域を利用する光ファイバ通信では1.55 μm帯が利用されている。これは、光ファイバが開発された当初、低損失領域が1.55 μmであると報告されたことに加え、近年光通信システムの性能を格段に向上させた光ファイバアンプが、1.55 μmに増幅帯域をもつことが主な理由になっている。したがって、光ファイバ通信では、1.55 μm帯以外の利用は想定されていなかった。

【0019】しかし、通信用として現場に敷設されている光ファイバは、図8に示すような損失特性を有する。すなわち、本発明で使用する1.57 μm~1.61 μmの波長域において、1.55 μmよりさらに低損失に

なっていることがわかる。これは、上記の効果に加えて、従来想定していなかった波長域の使用により、さらに低損失に伝送できる効果が得られることがわかる。

【0020】なお、光伝送路内に線形光中継器が配置された波長分割多重型光伝送システムでは、両方の波長域の光信号を1つの光増幅器で一括して増幅するか、それぞれの波長域の光信号を分離して別々の光増幅器で増幅するようにしてもよい。

【0021】次に、波長多重される複数の信号光の波長が1450 nmから1510 nmの間、1570 nmから1610 nmの間のいずれかに配置される波長分割多重型光伝送システム(波長分割多重型光伝送システム)について5つの実施形態を示し、それぞれについて説明する。

【0022】(第1の実施形態)図1は、本発明の第1の実施形態の構成を示す。本実施形態は、対向する光送信部と光受信部を中継器なしで接続する無中継ポイント・ツー・ポイント伝送システムの例を示す。

【0023】図において、本システムは、光送信部10、光伝送路20、光受信部30により構成される。なお、光源のバイアス等を直接変調する方式も光送信部10に適応可能である。光送信部10は、ここでは外部変調方式によるものであり、互いに異なる波長に設定された複数の光源11、光源から出力される光搬送波をデータ信号で変調する複数の変調器12、各変調器12から出力される光信号を合波する光合波器13、光合波器13から出力される波長分割多重光信号を一括増幅する光ポストアンプ14により構成される。なお、光ポストアンプ14は、必要に応じて設置される。

【0024】光伝送路20は、零分散波長が1.55 μm付近に設定された分散シフトファイバ21により構成される。光受信部30は、分散シフトファイバ21を伝搬した波長分割多重光信号を一括増幅する光プリアンプ31、波長分割多重光信号を各波長の光信号に分波する光分波器32、各波長の光信号を電気信号に変換する複数の光電気変換器(O/E)33、各電気信号からデータ信号を復調する電気受信回路34により構成される。なお、光電気変換器33の前に光プリアンプを設置すれば、受信感度を向上させることができる。この光プリアンプや光分波器32の前の光プリアンプ31は必要に応じて設置される。

【0025】光源11の波長は、分散シフトファイバ21を伝搬する際に波長分散の絶対値が0.5 ps/nm/km以上になるように設定される。ただし、分散シフトファイバ21の零分散波長は、製造上のばらつきから約1.535 μm~1.565 μmに分布すると考えられるが、分散スロープを+0.07 ps/nm²/kmとすると、波長分散の絶対値が0.5 ps/nm/km以上になる波長は、1.53 μm以下または1.57 μm以上となる。したがって、使用する波長帯は、1.5

3 μm 以下の波長帯（例えば、1.45 μm ～1.51 μm ）、または1.57 μm 以上の波長帯（例えば、1.571 μm ～1.61 μm ）、またはその両方の波長帯となる。

【0026】（第2の実施形態）図2は、本発明の第2の実施形態の構成を示す。本実施形態の特徴は、第1の実施形態において、分散シフトファイバ21の伝送損失を補償するために、光伝送路の途中に光増幅器を主要構成要素とする線形光中継器22を配置したところにある。すなわち、多中継ポイント・ツー・ポイント伝送システムの例である。これにより、伝送距離を飛躍的に延ばすことができる。分散シフトファイバ21の特性および使用する波長帯は第1の実施形態と同様である。本実施形態のように伝送距離が長く、線形光中継器22により光パワーが高いレベルに維持される場合には、従来構成では四光波混合による伝送品質の劣化が大きくなるが、本発明による使用波長帯を制限する構成ではその影響が小さく、効果が顕著である。

【0027】第1および第2の実施形態では、光増幅器として、光ファイバ増幅器または半導体レーザ増幅器を用いることができるが、それぞれ使用する波長帯に応じて最適な構造のものが選択される。1.45 μm ～1.51 μm 帯用の光増幅器としては、Tm添加型光ファイバ増幅器（TDF A）がある。その利得特性は、図3に示すように特に1.45 μm ～1.48 μm 帯が高利得領域となる。このTDF Aの励起には、1.0 μm ～1.2 μm 帯の光源を用いる。この波長帯の励起光源として、現在、Nd:YAGレーザやNd:YLFレーザがある。また、増幅用光ファイバをアイソレータや光バンドパスフィルタを介してカスケード接続する構成をとることにより、さらに高利得の増幅器が得られる。

【0028】1.57 μm ～1.61 μm 帯用の光増幅器としては、Er添加型利得シフト光ファイバ増幅器（GS-EDFA）がある。これは、増幅用光ファイバのEr濃度その他を最適化することにより、通常のEDFAの利得帯域（1.53 μm ～1.56 μm ）をシフトさせたものである。その利得特性を図4に示す。このGS-EDFAの励起には、0.98 μm 帯近傍、または1.48 μm 帯近傍の光源を用いる。

【0029】1.53 μm 以下の波長帯と1.57 μm 以上の波長帯を同時に使用する場合には、利得帯域の広い半導体レーザ増幅器を用いることにより、両波長帯の光信号を一括して増幅することができる。また、両波長帯の光信号を一括増幅できる光ファイバ増幅器の開発も進められている。また、それぞれの波長帯の光信号を個別に増幅した後に合波するようにしてもよい。その構成例を第3の実施形態として以下に説明する。

【0030】（第3の実施形態）図5は、本発明の第3の実施形態の構成を示す。本実施形態は、図2に示す第2の実施形態と同様に多中継ポイント・ツー・ポイント

伝送システムの例である。図2と同じ機能のものは同一符号を付す。光送信部10では、1.45 μm ～1.51 μm 帯の光信号は、例えば図3に示すTDF Aを用いた光ポストアンプ14 Aにより増幅され、1.57 μm ～1.61 μm 帯の光信号は、例えば図4に示すGS-EDFAを用いた光ポストアンプ14 Bにより増幅される。そして、両帯域の光信号は帯域合波用WDMフィルタ41で合波され、分散シフトファイバ21に送出される。

【0031】線形光中継器22では、両帯域の光信号が帯域分波用WDMフィルタ42で分波され、1.45 μm ～1.51 μm 帯の光信号が例えば図3に示すTDF Aを用いた光増幅器43 Aで増幅され、1.57 μm ～1.61 μm 帯の光信号が例えば図4に示すGS-EDFAを用いた光増幅器43 Bで増幅され、再び帯域合波用WDMフィルタ41で両帯域の光信号が合波される。

【0032】光受信部30では、両帯域の光信号が帯域分波用WDMフィルタ42で分波され、1.45 μm ～1.51 μm 帯の光信号は、例えば図3に示すTDF Aを用いた光プリアンプ31 Aにより増幅され、1.57 μm ～1.61 μm 帯の光信号は、例えば図4に示すGS-EDFAを用いた光プリアンプ31 Bにより増幅される。以下、第2の実施形態と同様に各光信号が復調される。

【0033】以上示した第1、第2、第3の実施形態はポイント・ツー・ポイント伝送システムの例であり、それぞれ四光波混合による伝送品質の劣化を回避し、分散シフトファイバを用いたシステムの伝送距離を飛躍的に向上できることを説明した。しかし、本発明はポイント・ツー・ポイント伝送システムに限らず、あらゆるネットワーク形態の波長分割多重型光伝送システムに適用可能である。例えば、第2の実施形態の光受信部30で分波された後に電気信号に変換された信号をデジタル再生し、必要であれば電氣的にルーティング処理を施した後に、再び光信号に変換して波長分割多重して光伝送路に送出する、あるいはこの手順を複数回繰り返す多中継光伝送システムにも適用可能である。

【0034】さらに、光伝送路の途中に特定の波長の1つまたは複数の光信号を分岐／挿入する光ノードを配置する波長分割多重型光伝送システムにも適用可能である。その構成例を第4および第5の実施形態として以下に説明する。

（第4の実施形態）図6は、本発明の第4の実施形態の構成を示す。

【0035】図において、本システムは、センタノード50、複数のリモートノード60、これらをリング状に結合する分散シフトファイバ21から構成される。各リモートノード60は、互いに異なる少なくとも1つの波長が割り当てられ、各波長を用いてセンタノード50との間で通信を行う。リモートノード60は、必要に応じ

て設置される光プリアンプ61、波長分割多重光信号から割り当てられた波長の光信号を分岐し、その波長の光信号を波長分割多重光信号に挿入する光分岐挿入回路62、必要に応じて設置される光ポストアンプ63から構成される。

【0036】センタノード50は、各リモートノードに割り当てた各波長対応の光送信器51、各波長の光信号を合波する光合波器52、必要に応じて設置される光ポストアンプ53からなる送信系と、必要に応じて設置される光プリアンプ54、波長分割多重光信号を各波長の光信号に分波する光分波器55、各波長対応の光受信器56からなる受信系により構成される。

【0037】センタノード50で多重化された波長分割多重光信号は分散シフトファイバ21を伝搬してリモートノード60に到達する。リモートノード60では、波長分割多重光信号から割り当てられた波長の光信号のみを分岐し、またその波長の光信号を波長分割多重光信号に挿入する。各リモートノード60を経由した光信号はセンタノード50に到達し、ここで各波長ごとに分波される。このように、本実施形態の構成は物理的にはリング網構成であるが、論理的には波長により識別されたパスにより、センタノード50と複数のリモートノード60がスター状に結合したスター網構成となっている。分散シフトファイバ21の途中には、必要に応じて伝送損失を補償する線形光中継器を挿入してもよい。

【0038】(第5の実施形態)図7は、本発明の第5の実施形態の構成を示す。本実施形態の特徴は、第4の実施形態の構成から情報を集約するセンタノードを取り除き、各リモートノード間に専用の波長を割り当てたパスが形成され、各リモートノード間がメッシュ状に結合されているところにある。

【0039】リモートノード60は、必要に応じて設置される光プリアンプ61、波長分割多重光信号から割り当てられた波長の光信号を分岐し、その波長の光信号を波長分割多重光信号に挿入する光分岐挿入回路62、必要に応じて設置される光ポストアンプ63から構成される。各リモートノード間の通信にはそれぞれ波長が割り当てられており、例えばリモートノード総数をNとすると、リモートノード#1は波長 λ_{12} , λ_{13} , ..., λ_{1N} の光を用いてリモートノード#2, #3, ..., #Nと通信を行う。1本の光ファイバで伝送する場合には、 $N(N-1)/2$ の波長数が必要になる。2本の光ファイバを用いれば、約 $N(N-1)/8$ の波長数に削減できる。分散シフトファイバ21の途中には、必要に応じて伝送損失を補償する線形光中継器を挿入してもよい。

【0040】第4の実施形態または第5の実施形態に示したような分散シフトファイバで構成された波長分割多重型リング網に本発明を適用すれば、四光波混合の影響を避けることができ、ノード間伝送距離の拡大、チャンネル間隔の狭窄化、チャンネル数の増大等が容易になり、大

きな効果が期待できる。使用する波長帯域は、例えば1.45 μm ~1.51 μm 帯、または1.57 μm ~1.61 μm 帯、またはその両方を用いる。両方の波長帯を用いる場合の線形光中継器は、第3の実施形態と同様の構成をとればよい。

【0041】以上説明したように、本発明の波長分割多重型光伝送システムは、使用する波長帯域を制限することにより、分散シフトファイバにおける四光波混合の影響を回避できる。これにより、分散シフトファイバへの許容光入力パワーを大きくすることができ、伝送可能距離を大幅に延ばすことができる。また、1.57 μm ~1.61 μm の波長域を使用した場合には、1.55 μm 帯よりもさらに伝送損失を低減できるので、従来の1.55 μm 帯伝送より伝送可能距離を延ばすことができる。

【0042】[第2の波長帯制限に関する実施形態]以下では、波長多重される複数の信号光の波長が1450nmから1530nmの間、1570nmから1650nmの間のいずれかに配置される波長分割多重型光伝送システムについて説明する。

【0043】まず、波長多重される信号光の波長を1450nmから1530nmの間、1570nmから1650nmの間とする理由に付いて詳細に説明する。始めに、信号光の波長分散と四光波混合光強度の係数に付いて説明する。ここで「四光波混合」とは、前述のように光周波数 f_1 , f_2 , f_3 を持つ3つの光が伝搬媒体との非線形相互作用により光周波数 $f_{\text{FWM}} = f_i + f_j - f_k$ の四光波混合光を発生する現象である。ここで、 i , j , k は1から3のいずれかの値をとり、かつ、 $j \neq k$ であるものとする。四光波混合光は、 f_i と f_j が一致した場合、つまり2つの光でも発生する。分散の小さい波長領域を用いた波長分割多重型光通信においては、四光波混合光の発生効率は、位相整合量 $\Delta\beta$ が小さいほど大きい。ここで、位相整合量 $\Delta\beta$ は、

$$\Delta\beta = (-\lambda^4 \pi / c^2) \cdot (dD/d\lambda) \cdot \{ (f_i - f_0) + (f_j - f_0) \} \cdot (f_i - f_k) \cdot (f_j - f_k)$$

で表わされることが、K. Inoue の論文 "Fiber four-wave mixing in the zero-dispersion wavelength region", J. Lightwave Technol., Vol. 10, pp. 1553-1561, 1992. に述べられている。ここで、 f_0 は零分散波長を周波数に換算したものである。また、 λ は光の波長を、 c は光の速度を、 D は波長分散を表わしている。この式から、波長多重化された複数の信号光のうち、1つの信号光の光周波数が f_0 に一致した場合 ($f_i = f_j = f_0$)、

または、2つの信号光の光周波数が周波数空間で f_0 を挟む場合 ($f_i - f_0 = f_0 - f_j$) には $\Delta\beta$ がゼロとなり、四光波混合の発生効率が最大となることが分かる。発生した四光波混合光の周波数といずれかの信号光の光周波数の差が受信機の受信帯域以内の大きさとなる場合には、四光波混合光は信号光に対して干渉雑音となる。

等間隔に配置された光周波数グリッド上に信号光の光周波数が配置されている場合、すなわち等間隔光周波数配置の場合、発生する四光波混合光の光周波数は、必ずこのグリッド上に位置することになる。このため、等間隔光周波数配置の場合には、四光波混合光による干渉雑音の影響が深刻になる。

【0044】図9は、信号光の波長分散と四光波混合光強度の関係のシミュレーション結果である。シミュレーションの条件は図9の右上に記載した通りである。なお、このシミュレーションにおける四光波混合光のパワーは、K. Inoue, H. Tobaによる論文“Fiber four-wave mixing in multi-repeater systems with nonuniform chromatic dispersion”, J. Lightwave Technol., 13, pp. 88-93, 1995. に示された方法によって見積った。図9において、200 GHz 間隔16波の信号光のうち、最も波長分散の小さいチャンネルの信号光が持つ波長分散を横軸にとり、これらの信号光が光ファイバを伝搬する際に、ある信号光の波長に一致して発生する四光波混合光強度の信号光強度に対する比率 (dB) を縦軸に示したものである。四光波混合光強度の信号光強度に対する比率が-30 dB以上になると信号光に劣化が生じることが知られており、図9から、最も波長分散がゼロに近い信号光の波長分散が0.35 ps/km/nm以下にあると劣化が大きくなることが読みとれる。光ファイバの分散スロープは前述したように一般に0.07 ps/nm²/km程度であるため、最もゼロ分散波長に近い信号光のゼロ分散波長からの波長距離が5 nm (=0.35/0.07) を下回ると劣化が生じる、ということになる。言い換えると、最もゼロ分散波長に近い信号光のゼロ分散波長からの波長距離が5 nm以上であれば四光波混合光による問題を回避できる、ということになる。

【0045】また、現在広く製造・敷設されている分散シフトファイバの零分散波長の零分散波長は、製造上のばらつきから1550 nmを中心にして概ね1535 nmから1565 nmに分布している。よって、現在製造・敷設されている分散シフトファイバを光伝送路とした場合において、信号光の波長を1530 nm (1535-5) 以下、もしくは、1570 nm以上 (1535+5) とすることにより四光波混合光による劣化による問題を回避できることになる。

【0046】次に、信号光の波長を1450 nmから1650 nmの範囲とする理由に付いて説明する。図10は分散シフトファイバの損失-波長特性の典型例を示した図である。光伝送路として分散シフトファイバを用いる場合、そのスパンは一般に100 kmである。また、中継器を構成する光増幅器の利得は一般に30 [dB] である。そこで、ファイバ損失を0.3 dB/km (=30/100) とすると、波長1450 nmから1650 nmを利用すれば良いことが分かる。以上より、現在製造、敷設されている分散シフトファイバを光伝送路と

する際には、信号光の波長として図11の符号112に示す1450 nmから1530 nmの間、または、符号111に示す1570 nmから1650 nmの間の波長を使用すれば、四光波混合による伝送特性劣化を被ることなく、長距離波長多重伝送が実現できることがわかる。なお、符号110は、光伝送路となる分散シフトファイバの零分散波長分布を表わしている。

【0047】次に、図11に示す光信号の波長帯111、112の妥当性を実験により証明する。図12は、チャンネルあたりの平均送出強度とパワーペナルティの関係を表わした実験結果である。図において、横軸は、チャンネルあたりの平均送出光強度、縦軸は四光波混合によるパワーペナルティである。使用した分散シフトファイバ長さは40 km、送信光信号のビットレートは10 Gb/s、波長数は8波長、光周波数間隔は200 GHz である。ここで、実験した信号光の波長は、従来用いられてきた波長帯1543~1556 nmと、本実施形態に係る波長帯1581~1589 nmの2つである。ここで用いるパワーペナルティは以下のように定義している。

パワーペナルティ [dB] = 10 × log (P_t/P_b)

なお、P_bは光伝送路用分散シフトファイバを伝送させず、送信器を直接受信器に接続した場合に、ビット誤り率が10⁻⁹を達成するのに必要な平均受光電力である。また、P_tは分散シフトファイバを40 km伝搬後に、ビット誤り率が10⁻⁹を達成するのに必要な平均受光電力である。同図から明らかなように、信号光の波長として従来用いられてきた1543~1556 nmを使用した場合、チャンネルあたりの送出光強度を増加すると四光波混合の影響によりパワーペナルティが増加する。

【0048】一方、本実施形態に係る波長帯1581~1593 nmを使用すると、四光波混合の影響が問題とならないことからパワーペナルティが増加しない。また、チャンネルあたりの送出強度を増加できるということは、線形中継器の入力パワーを増加できることを意味し、これにより光増幅器の雑音の影響を低減して伝送距離、すなわち中継器の間隔を長くすることができるようになる。

【0049】次に、信号光の波長を1450 nmから1530 nmの間、1570 nmから1650 nmの間のいずれかとする場合の波長帯の利用形態について説明する。

(第1の利用形態) 四光波混合による問題を回避できる長波長側に信号光の波長を配置する、すなわち、図11の符号111に示す1570 nm~1650 nmの間に配置するという波長帯の使用形態がある。また、四光波混合による問題を回避できる短波長側に信号光の波長を配置する、すなわち、図11の符号112に示す1450 nm~1530 nmの間に配置するという波長帯の使

用形態がある。さらに、信号光の波長として1450nmから1530nmの間、ならびに1570nmから1650nmの間の波長を同時に利用することも可能である。この場合ファイバの伝送容量を倍増することができる。なお、上記の利用形態において、光信号の伝搬方向の限定はしない。よって、すべての信号光が同方向に伝搬するのであっても、一部の光信号と他の光信号との伝搬方向が異なるものであっても良い。

【0050】(第2の利用形態) 第2の利用形態として、図13の符号112に示す1450nmから1530nmの間に波長が配置されている信号光の光伝送路の伝搬方向と、符号111に示す1570nmから1650nmの間に配置されている信号光の光伝送路の伝搬方向互いに逆向きする、という利用形態がある。以下では、このようにする理由を説明する。第1の利用形態において、信号光の波長として1450nmから1530nmの間、ならびに1570nmから1650nmの間の波長を同時に利用し、かつ、すべての信号光の伝搬方向が同じであると仮定する。この場合、一波長当たりのビットレートが比較的小さいときには、波長が1450nmから1530nmの間にある信号光と、1570nmから1650nmの間にある信号光の間のウォークオフがタイムスロットの時間と同じオーダーとなる。その結果、誘導ラマン散乱によるクロストークが生じ、伝送品質の劣化が無視できなくなるという問題が起こる。なお、「ウォークオフ」とは、群遅延時間の差に起因して、波長の異なる2つの光信号がファイバ伝搬に従って相対的な時間位置がずれていくことをいう。また、「誘導ラマン散乱」とは、短波長側にある信号光のエネルギーがファイバを構成する分子の振動を介して長波長側にある信号光に移行する現象のことをいう。

【0051】誘導ラマン散乱は、短波長側にある信号光と長波長側にある信号光がともに存在するときのみ発生するため、短波長側にある信号光のパワーの減少は、両者の符号の組み合わせ、ならびに相対時間位置に依存して変化し、これがクロストークとなって伝送特性が劣化する。この問題を回避するには、信号光の内、波長が1450nmから1530nmの間にあるものと、1570nmから1650nmの間にあるものを逆方向に伝搬させることが有効である。これにより、短波長側にある信号光と長波長側にある信号光のウォークオフを増加させ、誘導ラマン散乱による短波長側信号のパワーの減衰を平均化することができるからである。このような双方向伝送は、波長が1450nmから1530nmの間にある信号光と、1570nmから1650nmの間にある信号光の間で発生する非縮退四光波混合によるクロストーク、ならびに相互位相変調による波形劣化を回避する点からも有用である。これは双方向伝送によりウォークオフが増加し、非縮退四光波混合の位相整合条件が満足されなくなること、ならびに相互位相変調が平均化さ

れるためである。なお、「相互位相変調」とは、光パルス波により伝送ファイバの局所的な屈折率が変化し、他の光パルス波の瞬時周波数を変えられ光信号の位相が変化することをいう。以上の理由から、1450nmから1530nmの間に波長が配置されている信号光の光伝送路の伝搬方向と、1570nmから1650nmの間に配置されている信号光の光伝送路の伝搬方向互いに逆向きするとよい。

【0052】(第3の利用形態) 以上、1450nmから1530nmの間、ならびに1570nmから1650nmの間において光信号の波長を配置することを述べてきた。ここで、1530nmから1570nmの波長帯を利用しないのは、上述した通り四光波混合による信号劣化を避けるためであった。四光波混合による信号劣化は、らの論文に詳述されているように、不等間隔波長配置によって抑圧できる。ここで、「不等間隔波長配置」とは光周波数 f_1 、 f_2 、 f_3 の任意の3波から発生した四光波混合光の周波数 $f_{FWM} = f_i + f_j - f_k$ が、多重化されたどの信号光の光周波数とも受信機の受信帯域以上の差を持つように、各信号光の光周波数差が不等間隔となるような配置とするものである。ここで、 i 、 j 、 k は1から3のいずれかの値をとり、かつ、 $j \neq k$ であるものとする。例えば、周波数間隔が順に125、300、200、375、150、175、350、250、150、325、225GHzとなるように配置された12波の波長多重信号光の中の任意の3波が発生した四光波混合光は、どの信号光からも最低25GHz離れた周波数位置に生じることになり、干渉雑音とならない。

【0053】そこで、光伝送路となる分散シフトファイバの零分散波長に近い波長となる光信号において、不等間隔周波数配置を一部利用することで利用可能な波長範囲を拡大することができる。この利用形態の一例を図14に示す。波長多重される複数の信号光の波長は符号120に示す1450nmから1570nmの間、ならびに符号111に示す1570nmから1650nmの間に配置される。そして、1450nmから1570nmの間に波長が配置されている信号光と、1570nmから1650nmの間に配置されている信号光は、分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬させる。ファイバの零分散波長が1535nmにある最悪の場合においても、四光波混合による劣化を回避するために、少なくとも、符号130に示す波長が $1505\text{nm} (= 1535 - (1565 - 1535))$ 以上1565nm以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置する。なお、符号120に示す1450nmから1570nmの間に配置される信号光で、その中のある信号光の波長が1570nmに近い場合、 $1500\text{nm} (= 1535 - (1570 - 1535))$ 以上1570nm以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置するとよい。

【0054】同様に、図15の符号112に示す1450nmから1530nmの間と、符号121に示す1530nmから1650nmの間に分ける場合には、1450nmから1530nmの間に波長が配置されている信号光と、1530nmから1650nmの間に配置されている信号光を、分散シフトファイバ伝送路を互いに逆向きに伝搬させる。そして、ファイバの零分散波長が1565nmにある最悪の場合においても、四光波混合による劣化を回避するために、少なくとも、符号131に示す波長が1535nm以上1595nm(=1565+(1565-1535))以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置する。なお、符号121に示す1530nmから1650nmの間に配置される信号光で、その中である信号光の波長が1530nmに近い場合、1530以上1600nm(=1565+(1565-1530))以下の信号光の光周波数差は、不等間隔に配置するとよい。

【0055】次に、上記第1から第3の利用形態で説明した信号光における使用する波長帯域を制限する波長分割多重型光伝送システム例について、図16から図20を参照し説明する。図16は、第1の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。図16よりこのシステムは、送信回路210と受信回路211からなる光送受信装置212、213と、2つの光送受信装置212、213を結ぶ一本の光ファイバ伝送路224とによって構成される。送信回路210は、互いに波長の異なる信号光を発生する複数の送信機220および複数の信号光を波長多重化する合波器221からなり、受信回路211は、複数の信号光を分離する分波器222および分波された信号光から電気信号を復調する複数の受信機223からなる。また、光送受信装置212および213は、この送信回路211、受信回路212、および、フィルタまたはサーキュレータ225からなる。なお、送信機220は図1の互いに異なる波長に設定された光源11、光源から出力される光搬送波をデータ信号で変調する変調器12等により構成され、受信機223は図1の光電気変換器(0/E)33、各電気信号からデータ信号を復調する電気受信回路34等により構成される。

【0056】図17は、第2の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。図16のシステムと比較して、すべての信号光が、送受信時または中継時に、少なくとも1つの双方向光増幅器270によって一括増幅されることを特徴とする無中継または多中継のポイント・ツー・ポイント光波長分割多重双方向伝送システムとなっている。なお、この図を含む図17から図20において、図16の各部に対応する部分には同一の符号を付け、その説明を省略する。このように、双方向光増幅器270を用いて高いパワーで信号光を光ファイバ伝送路224に送出するシステムにおいては、光信号が配置

される従来の波長帯域では四光波混合またはラマンクロストークによる劣化が大きくなる。しかし、上述した光信号の波長の利用形態とすることで、それらが回避できる。

【0057】図18は、第3の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。本システムでは、信号光が送受信時または中継時にフィルタまたはサーキュレータ225によってその伝搬方向の別に分離される際、その伝搬方向の別によって異なる光増幅器280および281によって増幅されることを特徴としている。本システムは、図17に示すシステムと同じく、光増幅器を用いて高いパワーで信号光を光ファイバ伝送路に送出するシステムであり、上述した光信号の波長の利用形態による効果大きい。

【0058】図19は、第4の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。本システムは、図17または図18のシステムと比較して、すべての信号光が光ファイバ伝送路224を伝搬する前、または、伝搬した後に、この光ファイバ伝送路224と逆符号の分散スロープを持ち零分散波長がほぼ等しい分散補償ファイバ290によって、一括に分散補償されることを特徴としている。

【0059】図20は、第5の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。本システムは、図17または図18のシステムと比較して、信号光が送受信時または中継時にフィルタまたはサーキュレータ225によってその伝搬方向の別に分離される際、それぞれの伝搬方向における複数の信号光の平均分散とほぼ等しく、逆符号の分散を持つ分散補償ファイバ2100および2101によって、それぞれ分散補償されることを特徴としている。

【0060】なお、上述した波長帯の第1の利用形態において、すべての光信号の伝搬方向が等しい場合には、第1の波長帯制限で説明した第1から第5の実施形態のシステムであつてもよい。また、上述の光信号の波長配置における3つの利用形態は、ポイント・ツー・ポイント伝送システムに限らず、あらゆるネットワーク形態の波長分割多重型光伝送システムに適用可能である。

【0061】なお、本実施例では、現在広く製造・敷設されている分散シフトファイバを光伝送路として利用することを前提としていることから、光信号の波長配置を上記3つの利用形態にするとよい、ということになる。この技術思想は上述した分散シフトファイバと特性の異なる光伝送路にも応用できることはいうまでもない。例えば、光伝送路となる分散シフトファイバの零分散波長が例えば1550nmであれば、図21に示すように光信号の配置される波長を1450nmから1545nm(1550-5)の間、または1555nm(1550+5)から1650nmの間のいずれかとすればよい。すなわち、光伝送路の特性に応じて上述した技術思想の

もと信号光の配置される波長帯を定めれば良い。

【0062】 以上のように、波長多重される複数の信号光における使用する波長帯域を制限することにより、すでに設置されている分散シフトファイバにおいて、四光波混合の影響を回避できる。よって、分散シフトファイバへの許容光入力パワーを大きくすることができ、伝送可能距離を大幅に延すことができるようになる。

【0063】

【発明の効果】 以上説明したように、本発明の波長分割多重型光通信ネットワークは、使用する波長帯域を制限することにより、分散シフトファイバにおける四光波混合の影響を回避できる。これにより、分散シフトファイバへの許容光入力パワーを大きくすることができ、伝送可能距離を大幅に延ばすことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の波長帯制限における第1の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図2】 第1の波長帯制限における第2の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図3】 Tm添加型光ファイバ増幅器(TDFA)の利得特性を示す図である。

【図4】 Er添加型利得シフト光ファイバ増幅器(GS-EDFA)の利得特性を示す図である。

【図5】 第1の波長帯制限における第3の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図6】 第1の波長帯制限における第4の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図7】 第1の波長帯制限における第5の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図8】 通信用として現場に敷設されている光ファイバの損失特性を示す図である。

【図9】 信号光の波長分散と四光波混合光強度の関係のシミュレーション結果を表した図である。

【図10】 分散シフトファイバの損失-波長特性の典型例を示した図である。

【図11】 第2の波長帯制限を示した図である。

【図12】 チャンネルあたりの平均送出パワーとパワーペナルティの関係の実験結果を示す図である。

【図13】 第2の波長帯制限における第2の利用形態を示した図である。

【図14】 第2の波長帯制限における第3の利用形態を示した図である。

【図15】 第2の波長帯制限での第3の利用形態における別の例を示した図である。

【図16】 第2の波長帯制限における第1の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。

【図17】 第2の波長帯制限における第2の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。

【図18】 第2の波長帯制限における第3の波長分割

多重型光伝送システムのブロック構成図である。

【図19】 第2の波長帯制限における第4の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。

【図20】 第2の波長帯制限における第5の波長分割多重型光伝送システムのブロック構成図である。

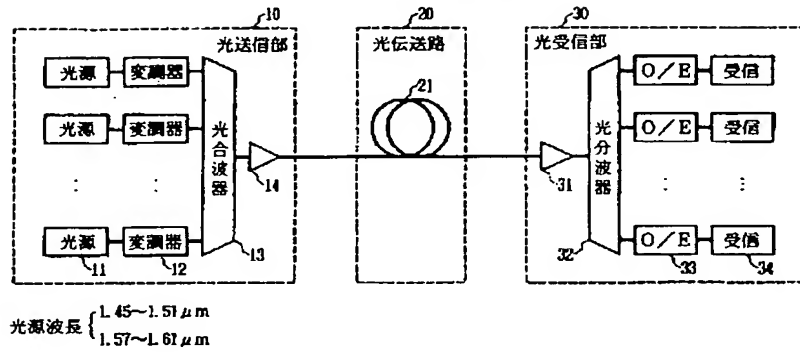
【図21】 分散シフトファイバの零分散波長が1550nmの場合における光信号の波長帯制限を説明するための図である。

【符号の説明】

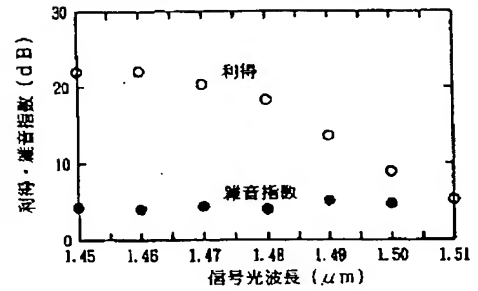
- 10 10 光送信部
- 11 光源
- 12 変調器
- 13 光合波器
- 14 光ポストアンプ
- 20 光伝送路
- 21 分散シフトファイバ
- 22 線形光中継器
- 30 光受信部
- 31 光プリアンプ
- 32 光分波器
- 33 光電気変換器
- 34 電気受信回路
- 41 帯域合波用WDMフィルタ
- 42 帯域分波用WDMフィルタ
- 43A、43B 光増幅器
- 50 センタノード
- 51 光送信器
- 52 光合波器
- 53 光ポストアンプ
- 54 光プリアンプ
- 55 光分波器
- 56 光受信器
- 60 リモートノード
- 61 光プリアンプ
- 62 光分岐挿入回路
- 63 光ポストアンプ
- 210 送信回路
- 211 受信回路
- 212、213 光送受信装置
- 220 送信機
- 221 合波器
- 222 分波器
- 223 受信機
- 224 光ファイバ伝送路
- 225 フィルタまたはサーキュレータ
- 270 光増幅器
- 280、281 光増幅器
- 290 分散補償ファイバ
- 2100、2101 分散補償ファイバ

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態の構成

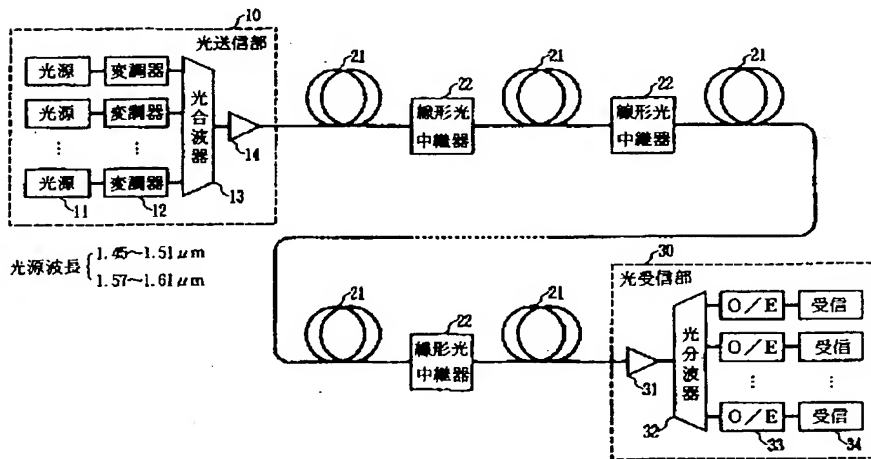


【図 3】

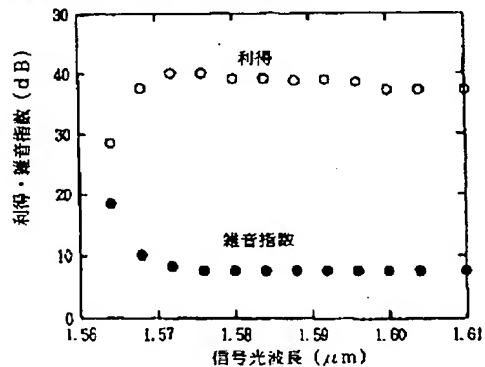
T₁添加型光ファイバ増幅器 (TDF A) の利得特性

【図 2】

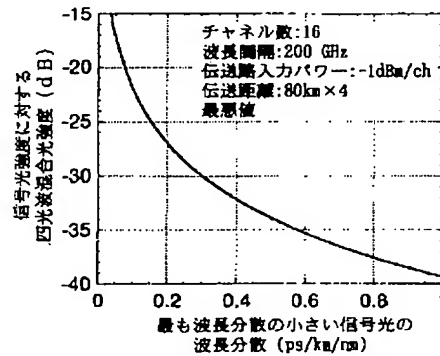
本発明の第 2 の実施形態の構成



【図 4】

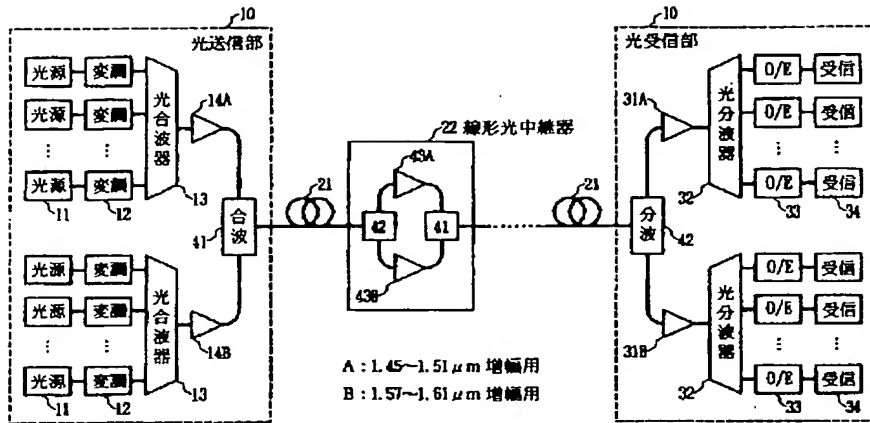
E_r添加型利得シフト光ファイバ増幅器 (GS-EDFA) の利得特性

【図 9】



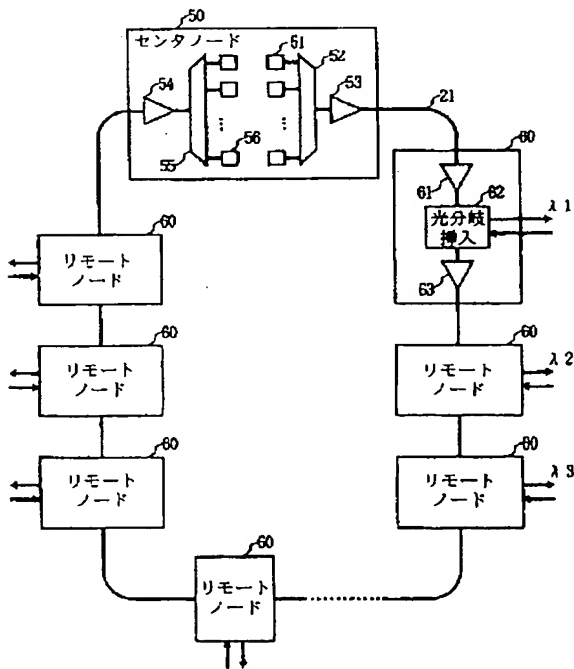
【図 5】

本発明の第 3 の実施形態の構成



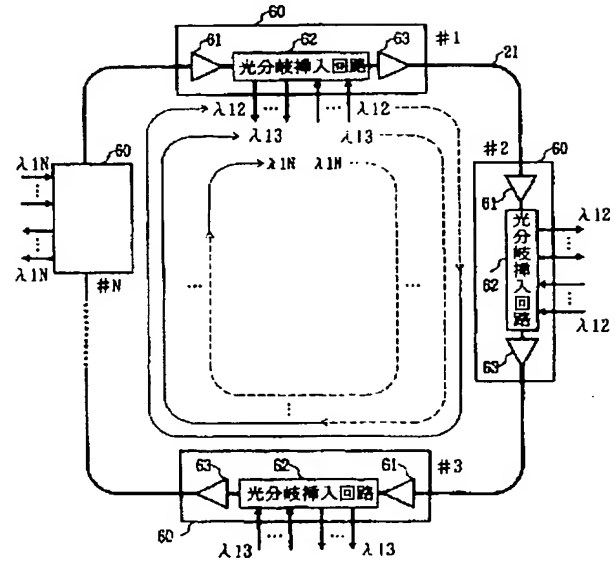
【図 6】

本発明の第 4 の実施形態の構成

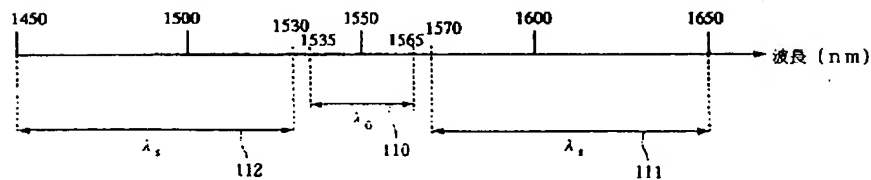


【図 7】

本発明の第 5 の実施形態の構成

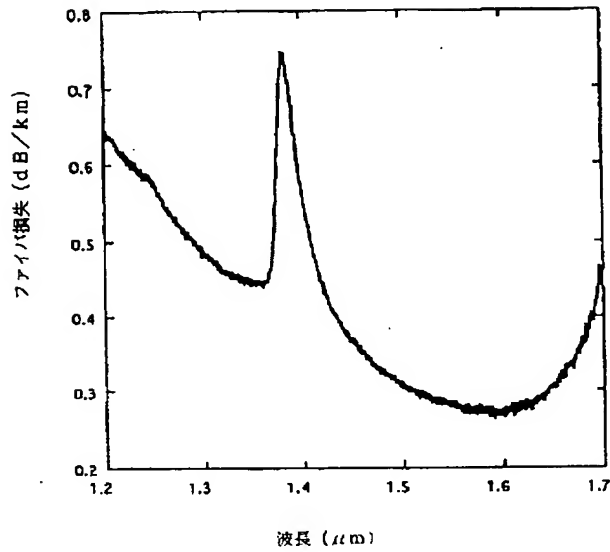


【図 11】

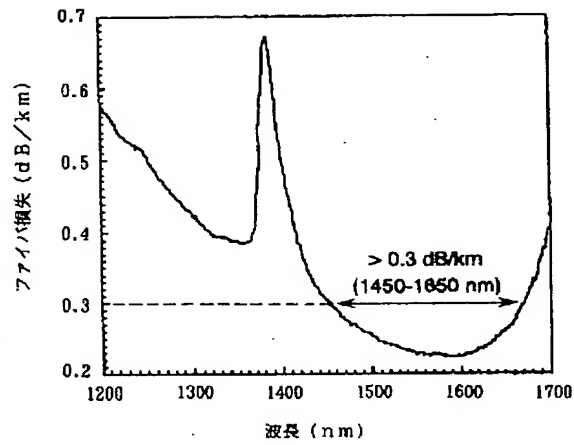


【図 8】

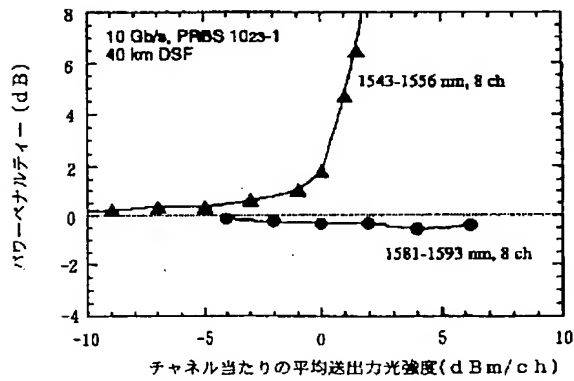
通信用として現場に敷設されている光ファイバの損失特性



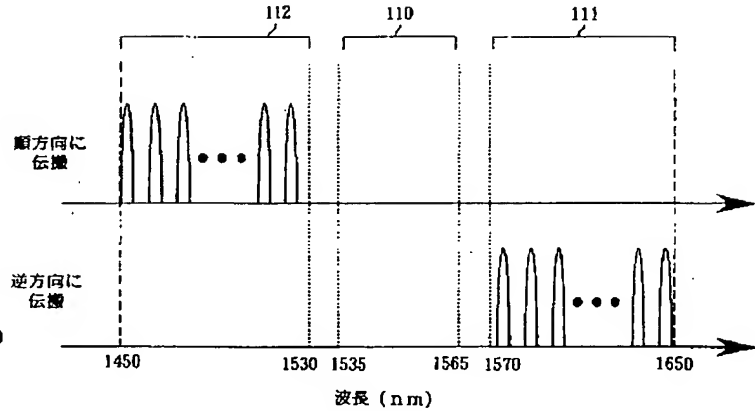
【図 10】



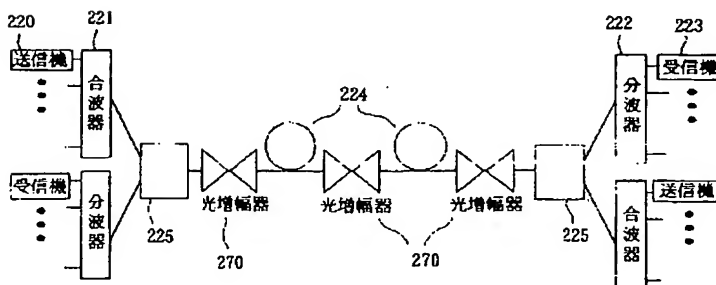
【図 12】



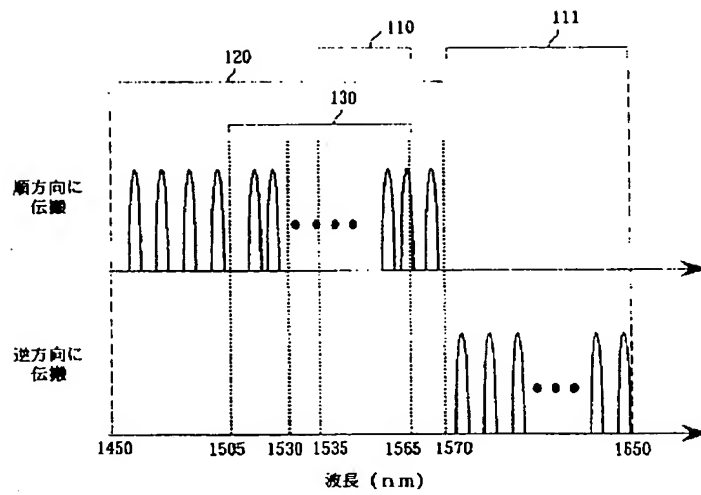
【図 13】



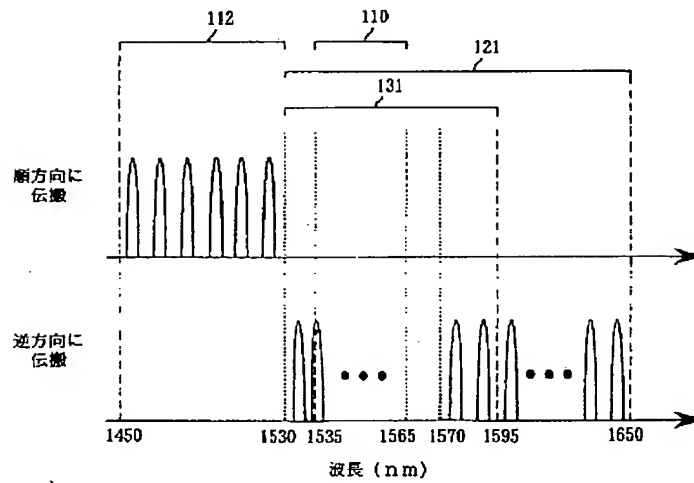
【図 17】



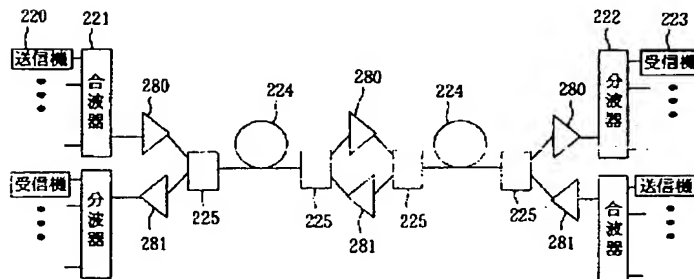
【図 1 4】



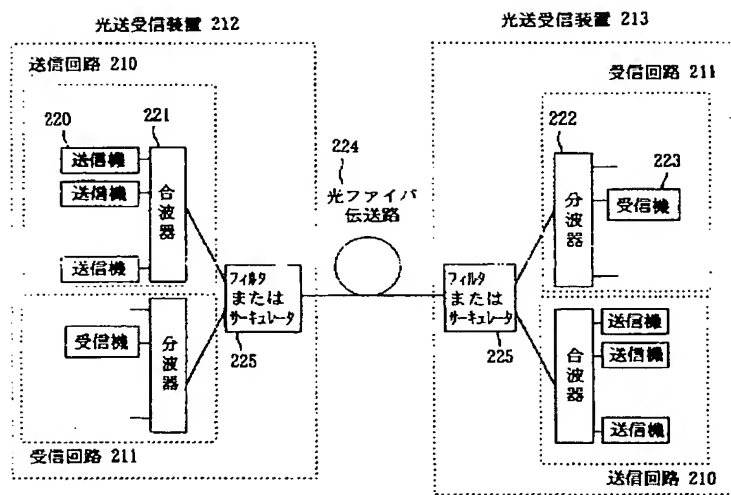
【図 1 5】



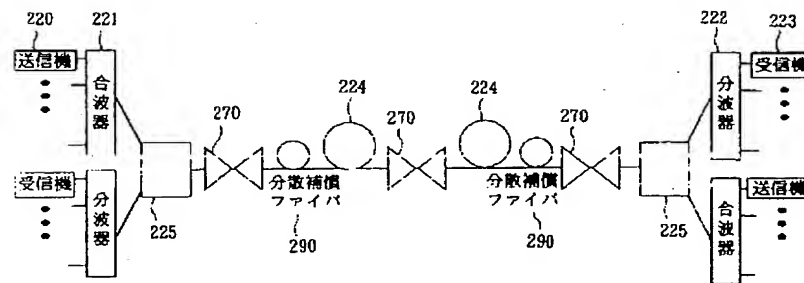
【図 1 8】



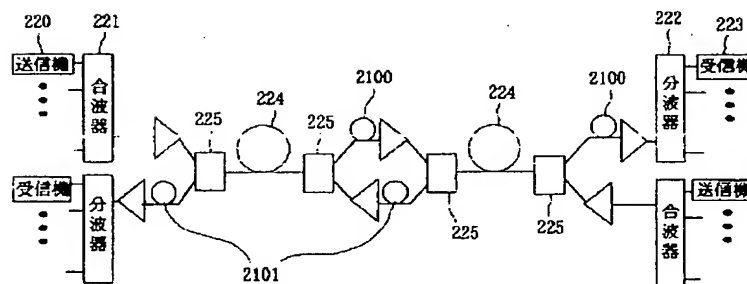
【図 1 6】



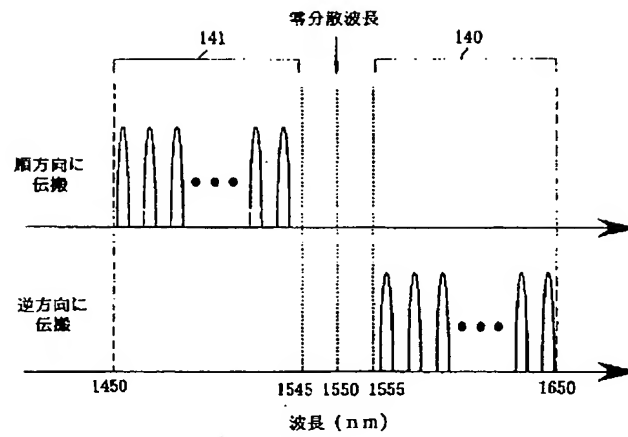
【図 1 9】



【図 2 0】



【図 21】



フロントページの続き

(72)発明者 乗松 誠司
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 可児 淳一
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内